

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ ПЕРЕДАЧІ МОДУЛЯЦІЇ ОПТИЧНОГО ПЕРЕДАВАЧА ПРИ НАЯВНОСТІ ПОХИБОК БАЗУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАЧА

У роботі за допомогою математичного моделювання проводяться дослідження впливу типових похибок базування лазерного випромінювача на функцію передачі модуляції оптичного передавача, який використовується у волоконно-оптичних лініях зв'язку та волоконно-оптичних датчиках фізичних величин. Увага приділена можливим розфокусуванням і децентруванням лазерного випромінювача. Для проведення досліджень використовувалась програма ZEMAX. По результатах досліджень надані рекомендації що до допустимих похибок базування лазерного випромінювача в пристрої оптичного передавача при можливих значеннях зменшення функції передачі модуляції.

Ключові слова: оптичний передавач, лазерний випромінювач, функція передачі модуляції, похибки базування.

OLEG KUCHERENKO

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

DETERMINATION OF THE OPTICAL TRANSMITTER MODULATION TRANSMISSION FUNCTION IN THE PRESENCE OF LASERS EMITTER

The most acceptable form of transmission of information over the fiber-optic line is its encoding in the form of rectangular pulses. In most cases, a semiconductor laser diode is used as a radiation source, and a single-mode fiber is used as a light guide. The main cause of energy losses in this node is the mismatch of the apertures of the laser diode and the fiber used to propagate the signal. In fiber-optic information systems, where the signal is modulated by the supply voltage, it is important not only to reduce energy losses, but also to transmit the signal to the fiber with minimal distortion. The most effective means of estimating the effect of the optical system of input of radiation into the optical fiber on the degree of distortion of the transformed signal is the use of Fourier transform of the signal with subsequent analysis of its frequency characteristics. Considering the node of the optical transmitter as one of the links of fiber-optic information systems, we conclude that it is necessary to study its frequency characteristics, namely its modulation transmission function. The modulation transfer function of this node depends on the design parameters of the input system. Errors in basing the radiating plane of the laser diode relative to the cardinal points of the optical system for inputting radiation into the optical fiber also have a significant effect on the modulation transmission function. Such errors include defocusing and angular and transverse decentering. Calculations of aberrations with subsequent determination of the scattering function and the use of fast Fourier transform for the calculation of FPM, as well as the calculation of FPM were performed using the program ZEMAX. The research allowed to obtain results characterizing the frequency properties of a typical optical system of laser diode radiation input into a single-mode optical fiber. It is established that the most stringent requirements (at the level of several microns) should be set before the possible defocusing of the radiating plane. Possible transverse decentering is limited to ten fractions of a millimeter, and ultimately its value is determined by the allowable vignetting of the radiation flux.

Keywords: optical transmitter, laser emitter, modulation transmission function, basing errors.

Постановка проблеми

Найбільш прийнятною формою передачі інформації по волоконно-оптичній лінії є кодування її у вигляді прямокутних імпульсів. При цьому в більшості випадків у якості джерела випромінювання використовується напівпровідниковий лазерний випромінювач, а в якості світловода – одномодовий світловод. Основною причиною енергетичних втрат у цьому вузлі є невідповідність апертур лазерного випромінювача та світловоду, що використовується для розповсюдження сигналу.

У волоконно-оптичних інформаційних системах (ВОИС), де модуляція сигналу відбувається за допомогою живлючої напруги, важливо не тільки зменшити енергетичні втрати, але й передати сигнал у світловод з мінімальними спотвореннями. Найбільш ефективним засобом оцінки впливу оптичної системи вводу випромінювання у світловод на ступінь спотворення сигналу, що трансформується, є використання Фур'є-перетворення сигналу з подальшим аналізом його частотних характеристик, а саме його функції передачі модуляції (ФПМ). ФПМ цього вузла залежить від конструктивних параметрів оптичного передавача. Суттєвий вплив на ФПМ мають також похибки базування випромінюючої площини лазерного випромінювача відносно кардинальних точок оптичної системи вводу випромінювання у світловод. До таких похибок перш за все відносяться розфокусування та кутове і поперечне децентрування. Проаналізуємо вплив похибок базування лазерного випромінювача на ФПМ оптичного передавача. Це дасть змогу виявити найбільш дієві похибки та сформулювати вимоги до точності базування лазерного випромінювача.

Аналіз останніх джерел

В роботі [1] запропонований пристрій для контролю спектральних характеристик світловодів з використанням інтегрально-оптичного спектроаналізатора. В роботі [2] розглянуті питання визначення енергетичних втрат в конекторах для ВОИС, обумовлених похибками взаємного розташування світловодів.

Метою роботи є: аналіз впливу похибок базування лазерного випромінювача на спотворення сигналу оптичним передавачем, за допомогою якого передається інформація в ВОИС. За критерій якості оптичного передавача прийнята його ФПМ.

Виклад основного матеріалу

Якщо вважати елементи ВОІС лінійними ланками, то частотний вигляд сигналу на виході системи можна знайти як добуток МПФ цих елементів. Вважаючи на це, визначення МПФ оптичного передавача як одного з елементів ВОІС є актуальною задачею. В свою чергу якість сигналу сформованого оптичним передавачем залежать від абераций оптичної системи передавача, а також похибок базування лазерного випромінювача відносно елементів його оптичної системи.

Аберації визначаються значеннями номінальних конструктивних параметрів елементів оптичної системи передавача, до складу яких відноситься і лазерний випромінювач. Поперечне і кутове децентрування оптичних поверхонь відносно джерела випромінювання обумовлює появу абераций коми та астигматизму другого порядку. Слід відзначити, що астигматизм стає помітним лише при значних децентруваннях, які рідко зустрічаються на практиці проектування оптичних передавачів для ВОІС і тому його у проведених дослідженнях не враховували.

Аберация кома, що викликана поперечним децентруванням, обчислюється із співвідношення [3]:

$$\delta g'_k = -\frac{\delta c_i}{2n'_k W} 3\sigma_k'^2 \sum_{\mu=i}^{\mu=i+p-1} \left[(\beta_n)_\mu (S_I)_\mu - (\Delta\beta_n)_\mu S_{I,\mu+1}^k - (\alpha_n)_\mu (S_{II})_\mu + (\Delta\alpha_n)_\mu S_{II,\mu+1}^k \right], \quad (1)$$

де δc_i – поперечне децентрування, тобто зсув центру кривизни поверхні з номером μ ; S_I, S_{II} – коефіцієнти сферичної аберации і коми; α, β – кути 1- і 2-го нульових променів; W – кутове збільшення оптичної системи, що розміщена за досліджуваною поверхнею; σ'_k – апертурний кут оптичної системи у просторі зображень; n'_k – показник заломлення скла в площині зображення за k -ю поверхнею.

При кутовому децентруванні на кут $\delta\theta_i$ отримаємо [3]:

$$\delta g'_k = -\frac{3\sigma_k'^2}{2n'_k W} \left\{ \sum_{\mu=i}^{\mu=i+p-1} r_\mu \left[(\beta_n)_\mu (S_I)_\mu - (\Delta\beta_n)_\mu S_{I,\mu+1}^k - (\alpha_n)_\mu (S_{II})_\mu + (\Delta\alpha_n)_\mu S_{II,\mu+1}^k \right] \right\} \delta\theta_i, \quad (2)$$

де $\vec{r}_\mu = r_\mu - \sum_{\nu=\mu}^{\mu-1} d\nu$.

Вплив дефокусування Δ на ФПМ визначається з співвідношення [4]:

$$T(R, \Delta) = \frac{4}{\pi a} \cos aR \left\{ \theta J_1(a) - \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^n}{2n} \sin(2n\theta) \times \right. \\ \left. \times [J_{2n-1}(a) - J_{2n+1}(a)] \right\} - \frac{4}{\pi a} \sin aR \sum_{n=0}^{n=\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \sin[(2n+1)\theta] \times \\ \times [J_{2n}(a) - J_{2n+2}(a)], \quad (3)$$

де $a = \left(\frac{8\pi}{\lambda}\right)lR$; $\theta = \arccos R$; $l = (\Delta \sin^2 \sigma'_A)/2$ – хвильова аберация;

Δ – дефокусування, мм;

σ'_A – апертурний кут оптичної системи у просторі зображень;

R – відносна просторова частота, що дорівнює $R = \lambda(f'/D)v'$;

D – діаметр вхідної зінниці оптичної системи;

λ – довжина хвилі;

f' – фокусна відстань оптичної системи.

Аналіз впливу похибок базування випромінювача на ФПМ оптичного передавача проводився для системи, розрахованої на мінімум сферичної аберации при її номінальних конструктивних параметрах. Схема системи, що досліджувалася, наведена на рис. 1. Оптичний передавач включає лазерний випромінювач 1, захистне скло корпусу лазерного випромінювача 2, градієнтну лінзу 3, лінзу з однорідного скла 4 та світловод 5.

Розрахунки абераций згідно співвідношень (1,2), з послідовним визначенням функції розсіювання і використанням швидкого Фур'є-перетворення для обчислення ФПМ, а також обчислення ФПМ із співвідношення (3) проводилися за допомогою програми ZEMAX.

Номінальні конструктивні параметри лінз системи вводу випромінювання наведені у таблиці 1.

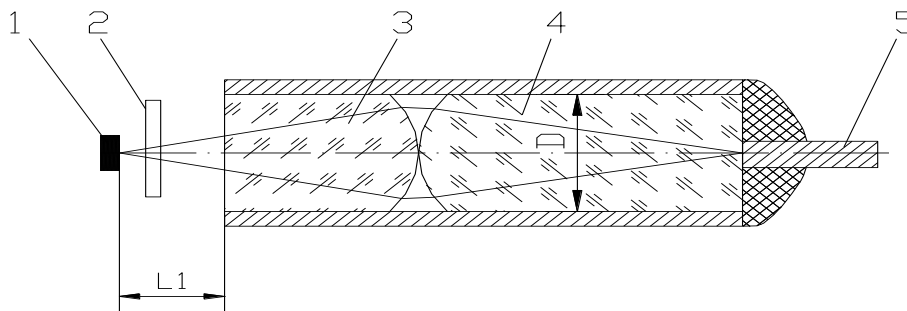


Рис. 1. Схема оптичного передавача

При мінімумі сферичної аберації система, що розглядалася, мала такі характеристики:

- а) відстань від випромінюючої площини до градієнтної лінзи $L_1 = 0,7$ мм;
- б) світловий діаметр лінз $D = 3,6$ мм;
- в) числова апертура лазерного випромінювача $NA = 0,2$;
- г) розподіл показника заломлення в градієнтній лінзі $n(r) = n_0^2 [1 - (gr)^2 + h_4(gr)^4 + h_6(gh)^6]$, де n_0 – показник заломлення на осі, $n_0 = 1,5857$; g, h_4, h_6 – коефіцієнти розподілу показника заломлення, $g = 0,0755$; $h_4 = 13,0$; $h_6 = 627,0$; r – радіус-вектор.

Таблиця 1

Конструктивні параметри оптичної системи оптичного передавача

r , мм	d , мм	n
∞	6,37	1,5857*
-3,225	0,1	1,000
5,000	13,18	1,7096
∞		

* на осі градієнтної лінзи.

На рис. 2–4 приведені отримані залежності зміни ФПМ від дефокусування, кутового та поперечного децентрувань відповідно, для просторової частоти $U' = 25$ 1/мм.

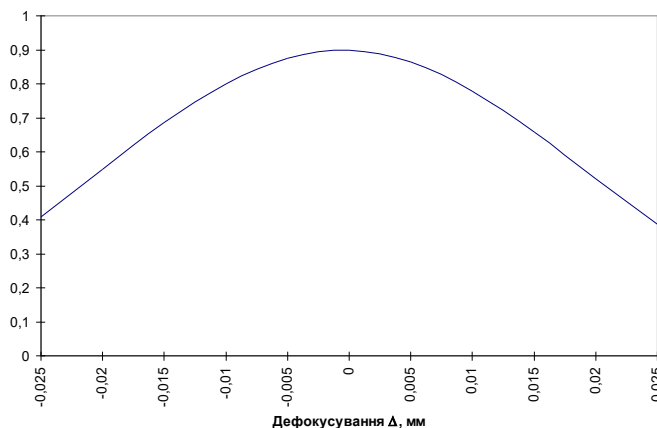


Рис. 2. Залежність ФПМ від дефокусування

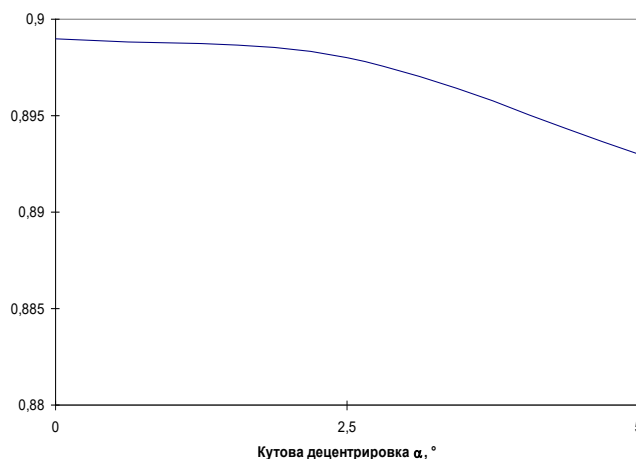


Рис. 3 Залежність ФПМ від кутового децентрування

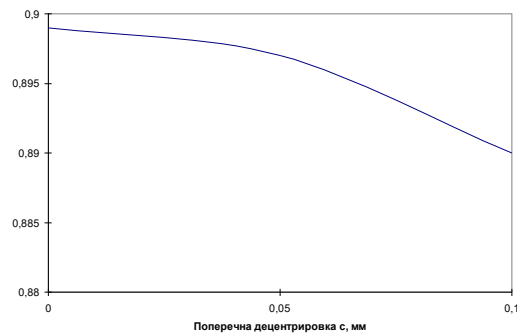


Рис. 4. Залежність ФПМ від поперечного децентрування

Висновки

1. Частотна характеристика оптичного передавача в значній мірі залежить від точності повздовжнього базування випромінюючої площини лазера. Так, наприклад, на просторовій частоті $\nu = 25$ 1/мм при відносній похибці базування $\frac{\Delta L_1}{L_1} = \frac{0.025}{0.7} \approx 0.036$ ФПМ зменшується пропорційно співвідношенню

$$\frac{T_0(25)}{T_{\Delta}(25)} = 2.3.$$

При дефокусуванні різного знаку від зміни функції $T(\nu')$ дещо відрізняється, що

пояснюється зміною числової апертури пучка променів, що використовується світловодом.

2. Залежність зміни ФПМ від кутового децентрування незначна і при можливих кутових технологічних похибках базування площини, що випромінює, кутовим децентруванням можна знехтувати. Так, наприклад, при нахилі площини випромінювання відносно площини, перпендикулярної оптичній осі, на кут $\alpha = 5^\circ$ отримаємо $\frac{T_0(25)}{T_{\alpha}(25)} \approx 1.007$. Зміна ФПМ від кута нахилу має симетричний вигляд і не залежить від напрямку нахилу.

3. Вплив поперечних децентрувань на зміну ФПМ стає значним, коли відносне децентрування дорівнює $c/D = 0.1$. При цьому $\frac{T_0(25)}{T_c(25)} \approx 1.58$.

4. Якщо у схемі, що досліджується, обмежити можливу зміну ФПМ внаслідок виникнення похибок базування відносно величиною $\frac{T_0(25)}{T_{\Delta,\alpha,c}(25)} = 1.05$, то потрібно обмежити значення похибок базування зазерного випромінювача величинами: $\Delta = -0.0063$ мм до $+0.0055$ мм; $\alpha = 9.78^\circ$; $c = 0.168$ мм.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення спотворень оптичного сигналу у світловоді волоконно-оптичної інформаційної системи.

Література

1. Кучеренко О. К. Затухание в конекторах для волоконно-оптических линий связи / О. К. Кучеренко, В. О. Кучеренко // Вісник НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”. Серія «Приладобудування». – 2015 – № 50. – С. 47–51.
2. Пат. на корисну модель № 101014 України. МПК G01J 3/28 (2006.01). Кучеренко О. К., Кучеренко В.О. Пристрій для контролю та вимірювання спектральних характеристик світловодів / О. К. Кучеренко, В. О. Кучеренко; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – № u 201500907; заяв. 05.02. 2015; опубл.25.08.2015. Бюл. № 16. – 3 с.
3. Губель Н. Н. Аберрации децентрированных оптических систем / Н. Н. Губель. – Л. : Машиностроение, 1975. – 272 с.
4. Шульман М. Я. Автоматическая фокусировка оптических систем / М. Я. Шульман. – Л. : Машиностроение, 1990. – 224 с.

References

1. Kucherenko O. K., Zatokhanye v konektorakh dlya volokonno-opticheskikh linyuy svyazy/ O. K. Kucherenko, V. O. Kucherenko // Visnyk NTUU „KPI im. Ihorya Sikorskoho”. Seriya «Pryladobuduvannya». – 2015 – №.50. – S. 47–51.
2. Pat. na korysnu model' № 101014 Ukrainy. MPK G01J 3/28 (2006.01). Kucherenko O. K., Kucherenko V.O. Prystriy dlya kontrolyu ta vymiryuvannya spektral'nykh kharakterystyk svitlovodiv / O. K. Kucherenko, V. O. Kucherenko; zayavnyk i patentovlasnyk NTUU «KPI im. Ihorya Sikors'koho». –№ u 201500907; zayav. 05.02. 2015; opubl.25.08.2015. Byul. № 16.–3 s.
3. Gubel' N. N. Aberratsii detsentrirovannykh opticheskikh sistem / N. N. Gubel', — L. :Mashinostroyeniye, 1975.—272s.
4. Shul'man M. YA. Avtomaticheskaya fokusirovka opticheskikh sistem / M. YA. Shul'man — L.: Mashinostroyeniye, 1990. — 224 s.